



Microéconomie de l'hydroélectricité

Partie 1. Valeurs de l'eau

Claude Crampes^{*} et Michel Moreaux[✉]

janvier 2015

^{*} claude.crampes@tse-fr.eu

[✉] michel.moreaux@tse-fr.eu

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction | 3 |
| Chapitre 1. L'eau et la production d'électricité | 6 |
| 1. Aspects économiques | 6 |
| 2. Régime juridique | 11 |
| Chapitre 2. Gestion de la ressource | 16 |
| 1. Complémentarité et substituabilité dans les usages de l'eau | 17 |
| 1.1. L'eau est un bien public | 17 |
| 1.2. L'eau est un bien privé | 24 |
| 2. Gestion des entrées et sorties d'un barrage | 28 |
| 2.1. Allocation optimale d'un stock d'eau | 29 |
| 2.2. La règle de Hotelling | 31 |
| 2.3. Demandes corrélées | 36 |
| Conclusion de la Partie 1 | 39 |
| Références bibliographiques | 40 |
| Annexes | 41 |

Introduction

Pendant près d'un siècle (depuis la Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique), les centrales hydroélectriques ont été soumises en France à un régime de concession pour les puissances supérieures à 4500 kilowatts ou d'autorisation pour les autres. Sous le régime de la concession, le concessionnaire est contraint par un cahier des charges. Il construit l'ouvrage et l'exploite pendant une durée maximale de 75 ans. L'État reste propriétaire des ouvrages. A l'issue de la période de concession, l'article 13 de la loi donnait la préférence au concessionnaire sortant dès lors qu'il acceptait le nouveau cahier des charges. Mais avec l'ouverture à la concurrence des activités de production électrique, la Commission européenne a demandé aux autorités françaises la suppression de ce droit de préférence ; il a été abrogé avec l'adoption de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006. Comment alors allouer les droits d'exploitation des barrages hydroélectriques dont les contrats sont arrivés à échéance ?

Depuis 2006, le renouvellement des concessions hydroélectriques françaises est un serpent de mer dont les gouvernements successifs essaient, chacun à sa manière, de retarder l'émersion. Le processus de mise en concurrence annoncé le 22 avril 2010¹ n'a pas résisté au changement de majorité à la tête de l'Etat.² En ce début d'année 2015, le sort des installations hydroélectriques est suspendu à la discussion par le Sénat du « projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte », après son adoption par l'Assemblée nationale le 14 octobre 2014.³ Dans son article 29, ce texte prévoit de confier l'exécution des concessions à des *sociétés d'économie mixte hydroélectriques*, à savoir des sociétés anonymes sous contrôle de l'Etat et comptant au moins une personne privée, plus éventuellement d'autres autorités publiques. Par ce montage, le législateur espère garantir une gestion motivée par l'intérêt collectif tout en bénéficiant de la souplesse des sociétés de droit privé.

Dans ce cadre juridique, la concurrence est réduite à la sélection de l'opérateur économique, actionnaire (probablement) minoritaire de la société. Sans préjuger des détails de la loi qui sera

¹ www.midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/22-04-2010_DP_Renouvellement_des_concessions_cle522562-1.pdf

² La publication de la « Lettre d'information du renouvellement des concessions hydroélectriques » lancée le 8 juillet 2011 s'est interrompue dès le numéro 3, en avril 2012. Voir www.developpement-durable.gouv.fr/La-lettre-d-information-du.html

³ www.assemblee-nationale.fr/14/ta/ta0412.asp

finalement adoptée ni des futurs décrets d'application, on peut penser que les règles de sélection s'inspireront du rapport demandé en son temps par le gouvernement au Conseil général des Mines, à l'Inspection générale des Finances et au Conseil général des Ponts et Chaussées,⁴ pour l'attribution des concessions hydroélectriques à des sociétés privées. Au-delà de la capacité financière et de la capacité technique, indispensables pour participer au processus de sélection, ce rapport mettait en avant trois critères pour le choix de l'opérateur:

- * critère énergétique : taille des investissements que le candidat envisage de financer pour améliorer l'efficacité énergétique des équipements ;

- * critère de bon usage de l'eau: efforts que le candidat entend consentir au profit des différents utilisateurs de l'eau, au-delà des obligations légales en faveur des usages autres qu'énergétique ;

- * critère économique : contribution que le candidat accepterait de verser à l'Etat en contrepartie de la concession ;

Dans le nouvel environnement juridique que fixera la Loi sur la transition énergétique pour la croissance verte quand elle sera finalement adoptée, on imagine mal que ces critères ne soient pas repris d'une façon ou d'une autre, avec ou sans hiérarchisation ou pondération. Etre indiscutablement le meilleur dans chacun des trois domaines susmentionnés ne sera peut-être pas nécessaire pour que les principaux opérateurs nationaux actuels, EDF et GDF Suez, conservent leurs concessions ou en gagnent de nouvelles. En effet la puissance publique pourra toujours arguer d'une meilleure cohérence dans la satisfaction des trois critères pour choisir tel ou tel entrant comme concessionnaire privé ou comme opérateur privé d'une société d'économie mixte hydroélectrique, selon ce que dira la loi qui sera finalement adoptée.⁵

Le travail présenté dans ce cahier de recherche et dans les suivants est une contribution à l'étude de cette logique globalisante. Il s'agit de synthétiser les apports de l'analyse économique des centrales hydroélectriques en mettant en avant les spécificités de l'eau et de l'électricité, au niveau technologique et au niveau des usages.

Les tâtonnements législatifs actuels s'expliquent par le caractère singulier de l'eau dont le contrôle et le partage ont, de tout temps, fait l'objet de règlements plus ou moins pacifiques. Dans le domaine de l'utilisation de l'eau pour la production d'énergie, la « Loi du 16 octobre 1919 relative à

⁴ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rap-cgm-concession-hydraulique.pdf>

⁵ Selon les déclarations d'intention affichées par les politiques de la majorité précédente sur ce sujet, le rôle traditionnel de l'opérateur en charge de la production d'électricité devait se transformer pour devenir celui d'un quasi *gestionnaire de territoire*.

l'utilisation de l'énergie hydraulique » (aujourd'hui remplacée par le livre V du code de l'énergie) fixait des règles du jeu essentielles pour encadrer le développement d'une industrie naissante :

article 1. « *Nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau, quel que soit leur classement, sans une concession ou une autorisation de l'Etat. Toutefois, aucune concession ou autorisation ne sera accordée sans avis préalable des conseils généraux des départements, représentants des intérêts collectifs régionaux, sur le territoire desquels l'énergie est aménagée.* »

Etablir une co-responsabilité de l'Etat, de collectivités territoriales et de sociétés privées peut sembler ne devoir que compliquer la construction et la gestion des barrages. Mais cet arrangement s'explique par les particularités économiques de l'eau qui se déplace, ou change d'état ou de qualité, mais ne se détruit pas. Ce premier cahier présente les principes économiques de l'analyse normative de la ressource en eau, en insistant en particulier sur sa nature duale de bien à la fois privé (elle ne peut pas être consommée par plusieurs types d'utilisateurs en même temps) et public (elle n'est pas détruite par l'usage). La valeur de l'eau stockée dans un barrage n'est donc ni simplement la plus grande de ses valeurs d'usage (par exemple la valeur créée par un électricien ou celle créée par un ensemble d'agriculteurs) ni simplement la somme des valeurs d'usage ; elle est les deux à la fois. La combinaison de ces attributs donne à la ressource en eau une spécificité économique que l'on retrouve dans la mise en concurrence multicritère des contrats de concession telle que la prône le rapport évoqué plus haut. On la retrouve aussi dans les orientations législatives actuelles qui penchent en faveur de sociétés d'économie mixte, donc associant intérêts privés et intérêts publics, pour gérer les barrages dont les contrats de concession arrivent à terme.

Le chapitre 1 présente les caractéristiques principales du secteur de l'hydroélectricité et celles du cadre juridique qui contraint les décisions économique en matière d'investissement, production et tarification dans cette industrie. Le chapitre 2 montre qu'un modèle microéconomique simple, un modèle discret à deux périodes et deux agents, permet de mettre en lumière comment s'articulent les spécificités physiques de l'eau et ses particularités économiques.

Chapitre 1. L'eau et la production d'électricité

Ce chapitre donne un premier aperçu de l'importance de l'hydraulique dans l'industrie de la production électrique, en France et dans le monde. Il contient aussi des informations concernant le cadre juridique dans lequel fonctionne cette industrie.

1. Aspects économiques

Les ressources hydroélectriques sont, aujourd'hui en France, la deuxième source de production d'électricité et la première source renouvelable.⁶ Fin 2012, environ 2250 unités très hétérogènes en taille représentaient 25 GW de puissance installée,⁷ soit 20% de la capacité de production totale de la France métropolitaine, et une production annuelle moyenne de 64 TWh, soit 12% de la production électrique.⁸ EDF exploite 80 % de la puissance hydroélectrique. La production annuelle du parc hydroélectrique des principaux acteurs français est d'environ 45 TWh pour EDF, 15 TWh pour Compagnie Nationale du Rhône et 2 TWh pour la Société Hydro-Electrique du Midi.

Près de la moitié de cette production vient de « centrales au fil de l'eau », c'est-à-dire d'unités de production où l'énergie primaire est l'énergie cinétique du courant d'eau. Cette production est donc entièrement dépendante du débit du cours d'eau. Tout comme le vent pour les éoliennes, l'eau non turbinée est perdue. Ces centrales fonctionnent donc en permanence, hors périodes de maintenance. Avec 37 TWh par an, elles réalisent plus de la moitié de la production hydroélectrique française.

Les centrales d'écluse et les centrales de lac (autour de 20% de la production pour chaque type) peuvent stocker l'eau, pour des durées qui se mesurent en heures ou jours

⁶ Source: Le baromètre 2013 des énergies renouvelables électriques en France. Observ'ER, 4ème édition

⁷ La puissance d'un barrage est donnée par le produit $P = H \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot r$, avec P puissance produite (en KW), H hauteur de chute (m), Q débit de l'installation (m^3/s), ρ masse volumique de l'eau (10^3 kg/m^3), g constante d'accélération de la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$) et r rendement de l'installation (aux alentours de 0,8 pour les centrales hydroélectriques) ; source <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Hydroelectricite.pdf>

⁸ La production est très dépendante de l'hydraulicité. Le record de sécheresse de 2011 a réduit la production à 50 TWh.

pour les premières et en mois, voire années pour les secondes, avant que cette eau soit turbinée pour produire de l'électricité.

Enfin, environ 10% de la production vient de Stations de Transfert d'Electricité par Pompage (STEP), c'est-à-dire de centrales permettant de consommer de l'électricité pour remonter de l'eau d'une retenue inférieure vers une retenue supérieure à des heures de faible coût, puis la relâcher, la turbiner et injecter l'électricité ainsi produite dans le réseau aux heures de forte demande. La France compte une dizaine d'installations d'une puissance totale égale à 4 500 MW, mobilisables en quelques minutes. La STEP de Grand'Maison par exemple, la plus puissante centrale hydroélectrique de France, est capable à elle seule de générer 1800 MW dans un délai de 3 minutes, soit la puissance équivalente de deux réacteurs nucléaires.⁹

L'âge moyen du parc hydroélectrique français est de 50 ans. Sur les 2250 installations produisant en France, 1800 ont une puissance inférieure à 12MW ; ensemble, elles ne représentent que 2 GW de puissance installée. Pour couvrir leurs coûts, elles peuvent être soutenues par un tarif d'obligation d'achat, payé par EDF puis répercuté sur les factures des consommateurs *via* de la Contribution au Service Public de l'Electricité,¹⁰ répartissant ainsi entre les usagers le surcoût à supporter.

L'une des principales qualités des centrales hydrauliques de retenue est leur très grande réactivité. L'électricité est produite en quelques minutes après que l'eau a commencé à être injectée dans les turbines. C'est donc une technologie qui permet de répondre à des variations rapides de la demande, en particulier en hiver sous nos latitudes, et aux injections intermittentes d'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque. Par exemple, à partir des données publiées par RTE,¹¹ on peut calculer que sur l'ensemble de l'année 2012 le coefficient de corrélation entre la demande nationale d'électricité nette des

⁹ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Hydroelectricite.pdf>

¹⁰ Le régime a été reconduit par l'Arrêté du 10 août 2012 définissant le programme d'investissement des installations de production hydroélectrique prévu à l'article L. 314-2 du code de l'énergie, sous conditions d'investissement pour améliorer la performance énergétique de ces installations et mieux les insérer dans leur environnement. Les exploitants de centrale ne souhaitant pas engager ces investissements restent libres de vendre leur production au prix du marché.

¹¹ Voir le site www.rte-france.com/fr/developpement-durable/eco2mix

productions éolienne et solaire¹² d'une part et, d'autre part, la production hydroélectrique était de .52, mais qu'il montait à .76 si l'on ne considère que les mois de janvier et février. On voit bien le rôle essentiel joué par les centrales hydrauliques dans l'ajustement entre l'offre et la demande d'électricité.

Dans le monde,¹³ l'hydroélectricité occupe aussi la seconde place (16% de la production en 2012) mais ce sont les sources fossiles qui sont les principales ressources (68%) alors que le nucléaire ne représente que 11% de la production. La production hydroélectrique constitue plus des trois quarts de la production d'origine renouvelable et elle n'est pas près de perdre son leadership (IEA, 2012).

Dans de nombreux pays en développement la ressource hydroélectrique est appelée à accompagner la croissance de l'économie (voir Figure 1). C'est le cas notamment en Asie,¹⁴ mais aussi en Afrique où la République démocratique du Congo devrait lancer la construction du barrage du Grand Inga (40 GW) en octobre 2015, une partie substantielle de la production étant destinée à l'exportation, notamment vers l'Afrique du sud.¹⁵

En revanche, dans les pays industrialisés, bien qu'il reste un énorme potentiel à exploiter comme le montre la carte de la France dans la Figure 2, l'ouverture de nouvelles installations se heurte aux contraintes introduites par la réglementation (nationale et transnationale) sur l'eau et à l'opposition des mouvements écologistes. Au sein de l'Union européenne, la multiplicité des cadres juridiques nationaux crée un obstacle supplémentaire au développement des activités hydroélectriques.¹⁶

¹² A cause des obligations d'achat de l'électricité d'origine éolienne ou solaire, il faut servir la demande résiduelle avec les autres technologies.

¹³ Source : <http://www.observ-er.org/observ-er/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap01-Fr.pdf>

¹⁴ Les ressources en eau du massif himalayen sont gigantesques. Les capacités cumulées installées au Bhoutan, Inde, Népal et Pakistan sont de l'ordre de 48 GW. Il y a potentiellement de quoi installer 162 GW supplémentaires (source The Economist, 29 novembre 2014).

¹⁵ Les Echos, 16 septembre 2014.

¹⁶ Sur ce point, voir la synthèse de Glachant *et al.* (2014)

Évolution de la production hydraulique par région (TWh) Hydraulic production growth by region (TWh)

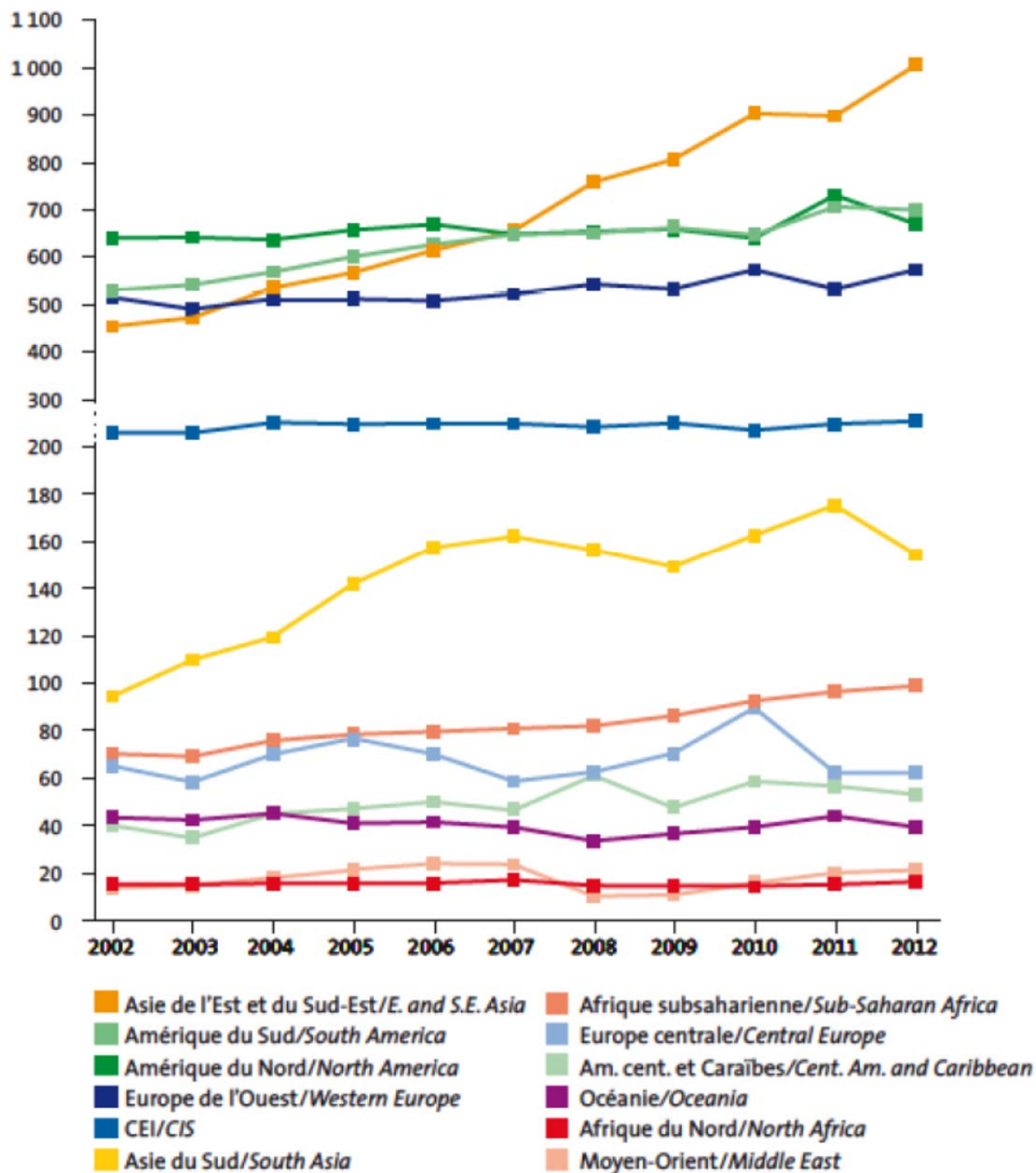


Figure 1 : Evolution de la production hydroélectrique dans le monde

source : <http://www.observ-er.org/observ-er/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap02.pdf>

Potentiel hydroélectrique par région française selon l'UFE

Source : UFE 2011

2 755 MW pour 576 installations de potentiel de création de nouveaux sites
304 MW pour 753 installations de potentiel sur des sites existants

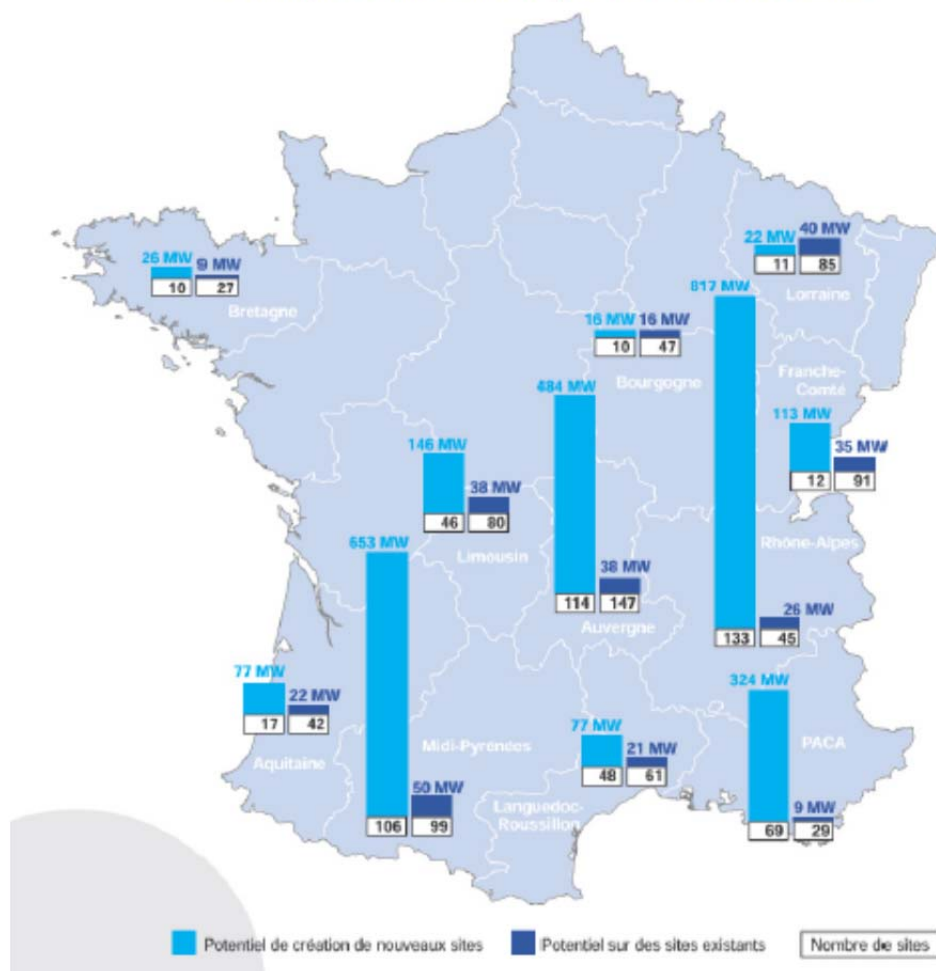


Figure 2 : Potentiel hydroélectrique par région française

source : « Le baromètre 2013 des énergies renouvelables électriques en France. » Observ'ER, 4ème édition

2. Régime juridique

En France, le cadre juridique de la production hydroélectrique a longtemps été défini par la *Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique*: l'exploitation de l'énergie des lacs et rivières était conditionnée à une autorisation pour les centrales inférieures à 4.5MW (durée 20 à 30 ans) ou à une concession pour les 400 plus grandes (durée généralement de 75 ans). Mais comme l'hydroélectricité touche à la fois à l'énergie, à l'eau et à l'environnement, la dite loi a été modifiée de façon répétée en 2005¹⁷, 2006¹⁸, et 2010¹⁹ et une ordonnance de 2011²⁰ en a abrogé la plupart des articles.

La situation juridique actuelle découle aussi de la loi Sapin de 1993²¹ qui stipule que les délégations de service public des personnes de droit public sont soumises par l'autorité délégante à une procédure de publicité permettant la présentation de plusieurs offres concurrentes (article 38). Donc, le renouvellement des concessions hydroélectriques doit en règle générale se faire par appel d'offres (confirmé par un avis du Conseil d'État le 28 septembre 1995).

Mais d'après l'article 41 de la loi Sapin, l'obligation de mise en concurrence ne s'applique pas lorsque la loi institue un monopole au profit d'une entreprise, ou lorsque le service public est confié à un établissement public. En outre, la loi du 16 octobre 1919 prévoyait un droit de préférence au concessionnaire sortant s'il souhaitait bénéficier d'un nouveau contrat de concession (article 13).

¹⁷ Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

¹⁸ Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques et Loi de finances rectificative n° 2006-1771 du 30 décembre 2006.

¹⁹ Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

²⁰ Ordonnance n° 2011-504 du 9 mai 2011 portant codification de la partie législative du code de l'énergie.

²¹ Loi du 29 janvier 1993 relative à la prévention de la corruption et à la transparence de la vie économique et des procédures publiques.

En pratique donc, jusqu'à aujourd'hui, les concessions hydroélectriques françaises ont été renouvelées de gré à gré, sans mise en concurrence. Ce système n'est plus tenable car

- i) en 2000 EDF a perdu son monopole²²
- ii) en 2004 EDF a été transformée en société anonyme²³
- iii) le droit de préférence prévu par la loi de 1919 a été supprimé par l'article 7 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques en 2006.

L'utilisation de l'énergie hydraulique est maintenant régie par le Livre V du Code de l'énergie, plus particulièrement les articles L. 521-1 et suivants pour ce qui est des concessions hydroélectriques.

Depuis le changement de majorité de 2012, le processus de mise en concurrence des concessions arrivées à leur terme est à l'arrêt. Chaque nouveau ministre de l'énergie propose un nouveau plan, surtout destiné à surseoir. Le calendrier qui avait été annoncé est d'ores et déjà dépassé.²⁴

L'enjeu économique est important. Il s'explique par le rôle pivot joué par les centrales hydroélectriques dans le système d'approvisionnement de la France en énergie électrique, mais aussi par la pluralité des usages de l'eau.²⁵

²² Loi n° 2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité.

²³ Décret n° 2004-1224 du 17 novembre 2004 portant statuts de la société anonyme Electricité de France.

²⁴ Un rapport de la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale du 7 octobre 2013 (présenté par M.N. Battistel et E. Straumann) critiquant le projet de la majorité précédente a permis, encore une fois, aux autorités de repousser l'échéance.

²⁵ « Parmi les finalités [des barrages] on distingue les suivantes :

- * le stockage d'eau en vue de régulariser le débit pour :

- la fourniture d'énergie, soit sous forme hydromécanique, soit à partir de 1890 sous forme hydroélectrique,

- l'alimentation des canaux à bief de partage afin de permettre le transport par voies d'eau,
 - la protection contre les crues.

- * le stockage d'eau pour garantir les prélèvements pour :

- soit pour l'irrigation,
 - soit pour l'eau potable.

- * l'utilisation des bassins de retenue des eaux

- la finalité piscicole,
 - la finalité récréative,

Le statut envisagé pour les concessions hydroélectriques dans le « *projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte* »²⁶, en discussion au Sénat au début 2015, est une nouveauté. En effet les « Sociétés d'économie mixte hydroélectriques » prévues par ce texte n'existent pas encore et on peut seulement procéder à un rapprochement avec les Sociétés mixtes à Opération Unique »²⁷ qui, elles, ont un concernement local. Malheureusement, celles-ci sont très récentes puisque créées par la Loi n° 2014-744 du 1er juillet 2014. Nous ne disposons donc en fait d'aucun recul pour en connaître les avantages et les inconvénients de fait, et nous devons provisoirement nous en tenir à quelques réflexions générales.

Les sociétés d'économie mixte ont souvent pour finalité de donner à des personnes morales publiques la majorité absolue dans le capital social tout en réservant à l'opérateur privé une minorité de blocage. Par exemple, dans la Compagnie Nationale du Rhône,²⁸ le capital est réparti entre le Groupe GDF Suez (49,97 %), la Caisse des dépôts (33,20 %) et des collectivités locales (16,83 %, dont 5,38 % détenus par le Conseil général des Bouches-du-Rhône).

Dans le texte du projet de loi sur la transition énergétique (voir l'article 29 reproduit à l'Annexe 1) le contrôle public majoritaire n'est pourtant pas exigé : « *L'État et, le cas*

α la finalité stratégique (l'alimentation des fossés d'une place forte n'est plus guère invoquée aujourd'hui) ». Extrait de Bordes (2010).

On notera qu'il manque dans la liste la consommation d'eau à des fins industrielles (Dupont et Renzetti, 2001), notamment le refroidissement des centrales électriques thermiques. Cette liste, probablement non exhaustive, montre à quel point l'eau est un « produit » particulier et, par conséquent, pourquoi sa gestion pose des problèmes idiosyncratiques de politique économique.

²⁶ Voir l'extrait de la loi dans l'Annexe 1.

²⁷ Une Société d'économie mixte à opération unique (SEMOP) est une société anonyme régie à la fois par le Code du commerce (livre II) et le Code général des collectivités territoriales (Livre V). La SEMOP associe au moins une collectivité territoriale et un opérateur économique, pour une durée limitée et pour une opération donnée. Elle disparaît de plein droit au terme du contrat. Le partenaire privé est sélectionné à l'issue d'une mise en concurrence.

www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029175431&dateTexte=&categorieLien=id. Les principales caractéristiques des partenariats public-privé institutionnels sur lesquels reposent les SEM à opération unique ont été précisées par la Commission européenne dans une communication interprétative du 5 février 2008 (C(2007) 6661), confirmée par la Cour de justice des communautés européennes le 15 octobre 2009. Pour un panorama général de ce qu'est un partenariat public-privé (PPP), voir Rapp(2014). Sur les PPP institutionnels, voir Rapp (2010).

²⁸ La CNR est en fait une « Société anonyme d'intérêt général, à directoire et à conseil de surveillance », depuis la Loi n° 2001-1168 du 11 décembre 2001 portant mesures urgentes de réformes à caractère économique et financier, un statut apparemment peu courant.

échéant, les collectivités territoriales (...) et les partenaires publics (...) détiennent conjointement 34 % au moins du capital de la société et 34 % au moins des droits de vote dans les organes délibérants. La part du capital et des droits de vote détenue par l'actionnaire opérateur ne peut être inférieure à 34 %. ».

Ces pourcentages donnent une grande marge de manœuvre qui laisse à prévoir d'intenses négociations avant la constitution même de la société mixte. Pourtant, le projet de loi prévoit une constitution en deux temps : « *Les modalités d'association de l'État, des collectivités territoriales ou de leurs groupements et des partenaires publics au sein de la société d'économie mixte hydroélectrique, (...), font l'objet d'un accord préalable à la sélection de l'actionnaire opérateur* ». Autrement dit, la partie publique (Etat + collectivités locales) fixe d'abord les règles du jeu, puis s'occupe de trouver un partenaire privé en faisant jouer la concurrence. On imagine mal que la partie publique, qui connaît mal les problèmes technico-économiques de la gestion des barrages, ne cherche pas à négocier dès le départ avec des opérateurs privés pour calibrer le contrat d'association ultérieur. S'il y a négociation, il est à craindre qu'elle soit cachée et donc suspecte. S'il n'y en a pas, le système va rencontrer des problèmes de sélection adverse, c'est-à-dire que les candidats privés seront *a priori* peu combatifs puisque leur préoccupation première sera de se couler dans le moule d'un actionnaire minoritaire.²⁹

Il est vrai qu'on peut être actionnaire minoritaire mais exercer un contrôle de fait, comme l'a jugé la Commission européenne lors du rachat en décembre 2003 par Electrabel des parts d'EDF dans la Compagnie nationale du Rhône.³⁰ Selon le droit de l'Union européenne, un actionnaire même minoritaire peut être considéré comme détenant un contrôle exclusif de fait d'une entreprise, notamment lorsque l'actionnaire a la quasi-certitude d'obtenir la majorité à l'assemblée générale, du fait du caractère très dispersé de l'actionnariat. Une SEM hydroélectrique étant d'envergure nationale, on peut penser que le gouvernement cherchera à éviter l'éparpillement de l'actionnariat public. Mais il reste possible que la demande de participation des différentes autorités territoriales soit très forte

²⁹ Problèmes évoqués par Stéphane Saussier dans Les Echos du 4 mars 2014 au sujet des SEMOP.

³⁰ ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m4994_20080429_20310_fr.pdf; décision confirmée en appel : voir eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:62009TJ0332&from=FR

et qu'il faille distribuer largement les postes d'administrateur pour parvenir à un certain consensus.

Un dernier point qui mérite attention est celui du rôle dual joué par les personnes morales publiques dans cet arrangement politico-commercial : l'Etat et les entités publiques associées vont toucher à la fois la redevance d'usage³¹ de l'eau et des dividendes sur les bénéfices de la société. Le dispositif de la régulation de cet organisme hybride reste à élaborer.

³¹ Article 33 de la loi du 30 décembre 2006 (Loi de finances rectificative pour 2006). : *La loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique est ainsi modifiée :*

2° Après l'article 9, il est inséré un article 9-1 ainsi rédigé :

« Art. 9-1. - Lors du renouvellement des concessions d'hydroélectricité, il est institué, à la charge du concessionnaire, au profit de l'Etat, une redevance proportionnelle aux recettes résultant des ventes d'électricité issues de l'exploitation des ouvrages hydroélectriques concédés. Le montant de cette redevance fixée par l'acte de concession ne peut excéder 25 % des recettes résultant des ventes d'électricité issues de l'exploitation des ouvrages hydroélectriques concédés.

« 40 % de la redevance sont affectés aux départements sur le territoire desquels coulent les cours d'eau utilisés, l'éventuelle répartition entre plusieurs départements étant proportionnelle à la puissance moyenne hydraulique devenue indisponible dans les limites de chaque département du fait de l'usine. »

Notons cependant que cette redevance n'est toujours pas prélevée en raison du retard pris par la procédure de renouvellement des concessions. Dans son référé du 21 juin 2013, la Cour des Comptes alerte les ministres responsables sur le manque à gagner pour le budget de l'Etat (320 millions d'euros non perçus pour l'année 2012). Dans leur réponse du 27 août 2013, les ministres concernés ne proposent aucune solution à ce problème, toujours pendant en ce début 2015

Chapitre 2. Gestion de la ressource

Les ressources en eau stockées dans un barrage alimenté par une rivière, un glacier, la pluie et la neige, voire un autre barrage situé en amont, ont des usages multiples qui, en général, ne sont pas totalement antagonistes. L'eau turbinée pour produire de l'électricité est disponible en aval pour de nombreux autres usages tels que l'irrigation des terres agricoles et l'alimentation des habitants de la vallée en eau potable. Mais cette complémentarité qui fait de l'eau un bien public est remise en cause quand on prend en compte les dates de disponibilité. En effet, pour la plupart des usages, la valorisation de l'eau dépend de la date à laquelle elle est disponible et de l'état de la nature prévalant à cette date. Pour reprendre l'exemple précédent, l'eau a beaucoup plus de valeur pour l'agriculteur en été qu'en hiver alors que c'est l'inverse pour un hydro-électricien.³² De même, les dates et les états de la nature dans lesquels l'eau sert à maintenir l'étiage et la biodiversité, ceux où l'eau est nécessaire pour refroidir des centrales thermiques et ceux où les flux doivent être régulés pour éviter des crues ne coïncident pas toujours.

C'est cette concurrence au niveau des dates et cette conjonction d'intérêts au niveau de la ressource qui font l'intérêt de l'analyse des ressources hydrauliques et plus particulièrement des retenues d'eau gérées par les électriciens.

Pour progresser dans la compréhension des problèmes soulevés nous allons d'abord traiter séparément les deux aspects de la relation complexe entretenue par les différents usages de l'eau puis les combiner dans un modèle synthétique présentant les principes économiques de gestion d'un barrage hydroélectrique.

³² Sous nos latitudes, les besoins en électricité sont plus importants en hiver (chauffage) qu'en été (air conditionné), ce qui n'est pas vrai par exemple dans le sud des USA.

1. Complémentarité et substituabilité dans les usages de l'eau

On étudie d'abord le problème statique d'allocation de l'eau quand elle peut remplir deux fonctions non exclusives (1.1), puis le problème d'allocation inter-temporelle ou géographique de la ressource (1.2).

1.1. L'eau est un bien public

Supposons qu'une quantité q_r de ressource hydraulique puisse être utilisée pour produire successivement le long d'une vallée, une quantité q_e d'électricité et une quantité q_a d'eau destinée à l'agriculture. Pour simplifier l'analyse, nous supposons que ces trois quantités sont mesurées dans les mêmes unités.

Notons $u_a(q_a)$ la valorisation de l'eau par les agriculteurs ; on suppose qu'il existe $\bar{q}_a > 0$ tel que $u'_a(q_a) > 0$ et $u''_a(q_a) < 0$ si $q_a < \bar{q}_a$ et $u'_a(q_a) = 0$ si $q_a > \bar{q}_a$. La valorisation de l'eau par l'hydraulicien, notée $u_e(q_e)$, présente les mêmes caractéristiques qualitatives : $u'_e(q_e) > 0$ et $u''_e(q_e) < 0$ si $q_e < \bar{q}_e$ et $u'_e(q_e) = 0$ si $q_e > \bar{q}_e$, où $\bar{q}_e > 0$.

Enfin, nous poserons que l'eau a plus de valeur pour l'hydro-électricien que pour les agriculteurs : $\bar{q}_e > \bar{q}_a$ et $u'_e(q) > u'_a(q) \quad \forall q$.

Puisque l'eau turbinée pour produire de l'électricité reste disponible pour les agriculteurs situés en aval et l'eau consommée par les agriculteurs n'a pas nécessairement été turbinée au préalable, il n'y a pas de conflit entre les deux usages. Il y a donc deux contraintes de flux à respecter :

$$q_e \leq q_r \text{ et } q_a \leq q_r$$

Enfin, nous noterons $c_r(q_r)$ avec $c'_r(q_r) \geq 0$ et $c''_r(q_r) \geq 0$ le coût de « production » du volume d'eau q_r . Dans un sens technique, une fois la centrale hydroélectrique installée, le coût de production est essentiellement un coût fixe d'entretien.

En fait, comme nous le verrons plus loin, le coût économique est donné par le gain futur perdu quand on laisse échapper de l'eau aujourd'hui : c'est un coût d'opportunité.

a) L'optimum de premier rang est la solution du problème

$$\max_{q_r, q_e, q_a} u_e(q_e) + u_a(q_a) - c_r(q_r)$$

sous les contraintes $0 \leq q_e \leq q_r$, $0 \leq q_a \leq q_r$

Le lagrangien du problème, noté L , a pour expression

$$L = u_e(q_e) + u_a(q_a) - c_r(q_r) + \lambda_e(q_r - q_e) + \lambda_a(q_r - q_a)$$

où λ_e et λ_a sont les variables duales non négatives attachées aux contraintes de flux.

Les conditions de Kuhn et Tucker sont les suivantes

$$\frac{\partial L}{\partial q_e} = u'_e(q_e) - \lambda_e \leq 0 \quad (=0 \text{ si } q_e > 0) \quad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_a} = u'_a(q_a) - \lambda_a \leq 0 \quad (=0 \text{ si } q_a > 0) \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_r} = \lambda_e + \lambda_a - c'_r(q_r) \leq 0 \quad (=0 \text{ si } q_r > 0) \quad (3)$$

Puisque $\bar{q}_e > \bar{q}_a$, la valeur marginale de la ressource q_r est donc

$$u'_r(q_r) \stackrel{def}{=} \begin{cases} u'_e(q_r) + u'_a(q_r) & \text{si } q_r \leq \bar{q}_a \\ u'_e(q_r) & \text{si } \bar{q}_a \leq q_r \leq \bar{q}_e \\ 0 & \text{si } \bar{q}_e \leq q_r \end{cases}$$

L'utilité marginale collective de l'eau en tant que bien public s'obtient donc par sommation des utilités marginales individuelles. Graphiquement, comme on peut le voir sur la Figure 3, il faut sommer les utilités marginales individuelles verticalement pour obtenir l'utilité marginale collective.

En combinant les relations (1), (2) et (3), le volume optimal du bien public est le volume q_r^* pour lequel

$$u'_r(q_r^*) = c'_r(q_r^*)$$

Cette équation admet deux types de solutions, illustrées à la Figure 3 :

- quand le coût marginal de la production d'eau est élevé, $\bar{c}'_r(\cdot)$ sur la figure,

alors

$$q_e^* = q_a^* = q_r^* \Rightarrow \bar{c}_r'(q_r^*) = u_e'(q_r^*) + u_a'(q_r^*)$$

où q_r^* est l'abscisse du point A.

- quand le coût marginal est faible, $\underline{c}_r'(\cdot)$ sur la figure, alors

$$q_e^* = q_r^* > q_a^* \Rightarrow \underline{c}_r'(q_r^*) = u_e'(q_r^*) \text{ et } q_a^* = \bar{q}_a < q_r^*$$

où q_r^* est l'abscisse du point B.

Puisqu'il n'y a pas concurrence entre hydroélectricité et besoin en eau d'irrigation les deux usages de l'eau sont toujours satisfaits :

- partiellement pour les deux si le coût de mise à disposition \hat{c}_r' est élevé, car alors : $q_e^* < \bar{q}_e$ et $q_a^* < \bar{q}_a$ (point A sur la figure),
- partiellement pour l'un et jusqu'à saturation pour l'autre quand le coût de mise à disposition \hat{c}_r' est faible : $q_e^* < \bar{q}_e$, $q_a^* = \bar{q}_a$ (point B sur la figure),
- totalement pour les deux dans le cas limite où $\hat{c}_r' \equiv 0$: $q_e^* = \bar{q}_e$, $q_a^* = \bar{q}_a$, (point C sur la figure).

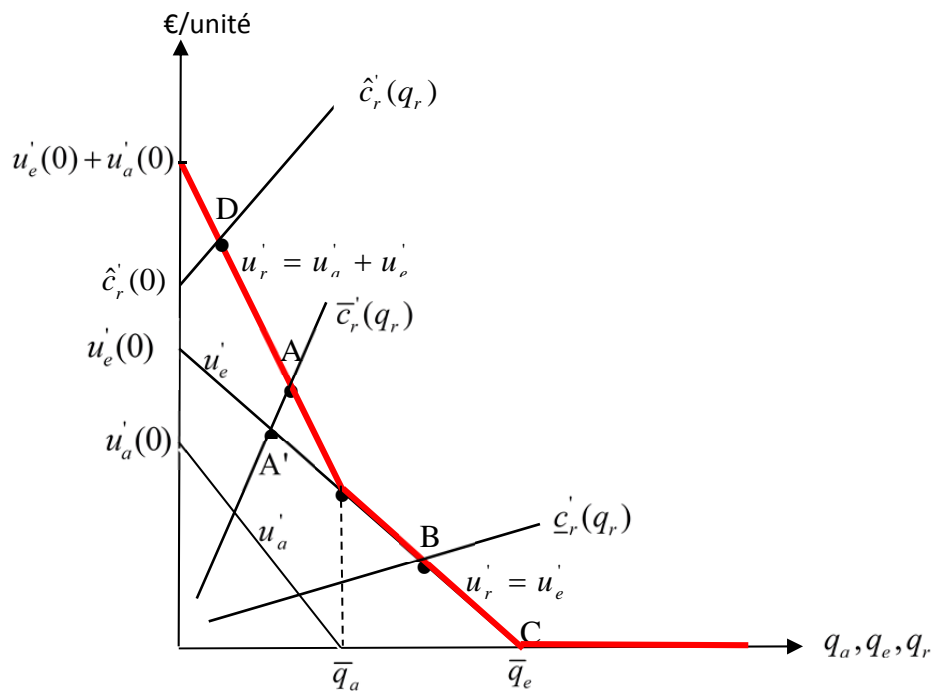


Figure 3 : Règle de production d'un bien public

La complémentarité économique des deux usages apparaît clairement dans le cas extrême d'un coût de mise à disposition tellement élevé que l'eau n'est valorisable séparément ni par l'électricien ni par l'agriculture mais qu'il devient efficient de l'utiliser dès lors que les deux activités sont prises en compte simultanément, c'est-à-dire lorsque :

$$u'_a(0) < u'_e(0) < c'_r(0) < u'_a(0) + u'_e(0)$$

où le coût marginal est représenté par la courbe $\hat{c}'_r(q_r)$ sur la Figure 3.

b) Le volume produit q_r^* et les quantités consommées q_e^* et q_a^* de la ressource en eau peuvent être décentralisés par des prix, dits prix de Lindhal,³³ c'est-à-dire des prix personnalisés, différents pour les différents agents, qui reflètent les diverses valorisations de l'eau par les usagers à l'optimum.

En effet, face aux prix

$$p_e^* \stackrel{def}{=} u'_e(q_e^*) \quad , \quad p_a^* \stackrel{def}{=} u'_a(q_a^*) \quad \text{et} \quad p_r^* \stackrel{def}{=} p_e^* + p_a^*$$

des agents indépendants qui résolvent les problèmes

$$\max_{q_e} u_e(q_e) - p_e^* q_e \quad \text{pour l'électricien}$$

$$\max_{q_a} u_a(q_a) - p_a^* q_a \quad \text{pour l'agriculteur}$$

$$\max_{q_r} p_r^* q_r - c_r(q_r) \quad \text{pour le gestionnaire de la ressource}$$

choisiront respectivement les volumes q_e^* , q_a^* et q_r^* .

La mise en œuvre de ce mécanisme exige un contrôle quantitatif des consommations car la non-destruction de la ressource par l'usage crée une incitation à se comporter en « passager clandestin ». En effet, s'il est possible de ne payer que l'eau demandée explicitement (par un bon de commande ou la signature d'un cahier des charges) mais de consommer à concurrence de la quantité produite, il est de l'intérêt de chaque usager de minorer sa consommation ou, à la limite, de ne rien explicitement demander pour n'avoir rien à payer.

Prenons l'exemple de l'agriculteur et notons q_a^1 le volume de consommation déclarée et payée au prix p_a et q_a^2 le volume qu'il consomme sans payer lorsque la production q_r est

³³ Lindhal (1919).

supérieure à q_a^1 . Pour un prix p_a donné et une production q_r connue de lui, l'agriculteur est face au problème suivant :

$$\max_{q_a^1, q_a^2} u_a(q_a^1 + q_a^2) - p_a q_a^1 \quad s.c. \quad q_a^1 + q_a^2 \leq q_r,$$

dont la solution évidente est

$$q_a^1 = 0 \quad \text{et} \quad q_a^2 = \min(q_r, \bar{q}_a)$$

puisque seule la quantité q_a^1 peut donner lieu à facturation.

Dans ce cas extrême où la demande d'eau explicitement déclarée par l'agriculteur est nulle, le gestionnaire de la ressource ne peut répondre qu'à la demande exprimée par l'électricien. Supposons que ce dernier ne puisse pas se comporter de façon opportuniste, contrairement à l'agriculteur. Deux situations peuvent se présenter :

- si le coût marginal de production de la ressource est faible (courbe $\underline{c}_r(q_r)$ sur la Figure 3), l'équilibre et l'optimum coïncident (point B de la Figure 3) puisque, de toutes façons, le prix de Lindhal pour l'agriculteur est nul ;
- en revanche, si le coût marginal est élevé (courbe $\bar{c}_r(q_r)$), la demande totale exprimée est plus faible que la demande réelle et l'équilibre des échanges est au point A' alors que l'optimum est au point A. Le comportement opportuniste de l'agriculteur conduit donc à un volume d'activité sous optimal.

Plus grave est le cas dans lequel l'électricien cherche lui aussi à voyager clandestinement sur le bateau financé par l'autre utilisateur, c'est-à-dire à attendre de pouvoir consommer gratuitement l'eau achetée par l'agriculteur. Alors la demande totale déclarée est nulle et le gestionnaire de la ressource n'en produit pas contrairement à ce que préconise l'optimum.

Dans le cas extrême où seule la simultanéité des usages justifie la mise à disposition de la ressource à ses usagers potentiels, le comportement opportuniste d'un seul des deux peut conduire à la disparition de l'activité. C'est le cas correspondant à une fonction de coût marginal du type $\hat{c}_r(q_r)$ illustrée à la Figure 3. La production efficiente est donnée par l'abscisse du point D. En ce point $\hat{c}_r(q_r^*) = u'_e(q_r^*) + u'_a(q_r^*)$.

Mais puisque $u'_a(0) < u'_e(0) < \hat{c}_r(0)$, le comportement de passage clandestine de l'un ou l'autre des usagers, même de celui dont la demande potentielle est la plus faible, en

l'occurrence l'agriculteur, conduit à l'absence de production pour insuffisance de la demande exprimée.

c) Partant de ce modèle élémentaire, on peut en étudier différentes variantes, par exemple:

- le gestionnaire de la ressource est un monopole privé qui connaît les fonctions de demande des agriculteurs et de l'électricien, qui peut leur imposer des prix différents, p_a aux premiers et p_e aux seconds, et qui, de plus, peut exclure de son usage celui qui omettrait de déclarer la totalité des quantités qu'il utilise. Il serait alors amené à résoudre le problème suivant :

$$\begin{aligned} \max_{q_r, p_e, p_a} \quad & p_e q_e(p_e) + p_a q_a(p_a) - c_r(q_r) \\ \text{s.c.} \quad & q_a(p_a) \leq q_r, \quad q_e(p_e) \leq q_r \end{aligned}$$

où $q_e(p_e)$ et $q_a(p_a)$ sont respectivement les fonctions de demande de l'électricien et des agriculteurs.³⁴ Puisque ses décisions sont basées sur la recette collectée et non sur le surplus des consommateurs, le monopole livrera à chaque type d'utilisateur des quantités sous-optimales.

- l'électricien est aussi gestionnaire de la ressource et se comporte comme un monopole vis-à-vis des agriculteurs :

$$\begin{aligned} \max_{q_r, q_e, p_a} \quad & u_e(q_e) + p_a q_a(p_a) - c_r(q_r) \\ \text{s.c.} \quad & q_a(p_a) \leq q_r, \quad q_e \leq q_r \end{aligned}$$

Pour les monopoles, la connaissance des fonctions de demande des usagers et l'observation des quantités qu'ils consomment effectivement sont des informations dont l'acquisition est coûteuse. Réduire l'asymétrie d'information dont ils pourraient pâtir requiert de mobiliser des moyens, par exemple enquêtes et dispositifs de surveillance, et du temps. Par ailleurs, être à la fois premier utilisateur de la ressource en eau et gestionnaire de l'approvisionnement des autres utilisateurs donne à l'hydroélectricien un pouvoir de marché

³⁴ Les fonctions de demande directes $q_i(p_i)$, $i = 1, 2$, sont les fonctions inverses des fonctions de surplus marginal u_i lorsque le surplus est mesuré en monnaie.

important. Généralement, cette organisation est contrainte par un règlement d'eau,³⁵ c'est à dire un ensemble de contraintes portant sur le débit minimal, le débit réservé, les lachûres, le soutien d'étiage, etc.

- un autre développement consisterait à endogénéiser les ressources financières que le gestionnaire de la ressource consacre ou doit consacrer aux investissements permettant de réduire les coûts de production.

A ce stade, il ne nous semble pas nécessaire de poursuivre l'exploration de ces déclinaisons. L'objectif premier est de mettre en exergue la particularité économique de l'eau en tant que bien public. Sa valeur est égale à la somme de ses différentes valeurs d'usage non exclusives les unes des autres, lesquelles valeurs sont très difficiles à connaître. Dès lors que les consommateurs ne peuvent pas être exclus et que le comptage de leurs prélèvements est trop coûteux, ils ont tendance à sous-évaluer leurs déclarations, voire à afficher un total désintérêt pour la ressource, espérant pouvoir bénéficier d'une production dont le coût serait supporté par les autres usagers.

35

www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006839986&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20100714

1.2. L'eau est un bien privé

Considérons maintenant le cas dans lequel l'électricien et l'agriculteur ne sont pas situés en aval l'un de l'autre mais dans deux vallées différentes alimentées par un même réservoir. La situation est clairement une situation de conflit d'usage puisque les lâchures d'eau que reçoit l'un sont *ipso facto* des lâchures que ne reçoit pas l'autre. Une situation ayant les mêmes conséquences est celle dans laquelle deux types d'utilisateurs situés dans une même vallée, l'un près de la retenue d'eau, l'autre plus bas, ont des besoins qui ne s'expriment pas à la même date. L'effet de concurrence entre les deux types d'utilisation est le même mais cette concurrence est temporelle et pas géographique.

a) Lorsque les usages sont exclusifs l'un de l'autre, le problème de premier rang prend la forme suivante

$$\max_{q_r, q_e, q_a} u_e(q_e) + u_a(q_a) - c_r(q_r)$$

sous les trois contraintes

$$q_e \geq 0, \quad q_a \geq 0 \quad \text{et} \quad q_e + q_a \leq q_r.$$

La différence avec le cas des usages non-exclusifs étudié à la section précédente est qu'aux deux contraintes non conflictuelles sur les usages $q_e \leq q_r$ et $q_a \leq q_r$, on doit substituer une seule contrainte $q_e + q_a \leq q_r$. Si cette contrainte est liante, c'est-à-dire si la ressource est rare au regard des besoins, ce qui alloué à la satisfaction de l'un est nécessairement soustrait de ce qui est alloué à la satisfaction de l'autre : $q_e = q_r - q_a$ ou $q_a = q_r - q_e$.

Le lagrangien associé à ce problème a pour expression :

$$L = u_e(q_e) + u_a(q_a) - c_r(q_r) + \lambda(q_r - q_e - q_a)$$

où λ est la variable duale associée à la seule contrainte qui lie les usages mutuellement exclusifs de l'eau.

Les conditions de Kuhn et Tucker pour ce programme sont les suivantes

$$\frac{\partial L}{\partial q_e} = u'_e(q_e) - \lambda \leq 0 \quad (= 0 \text{ si } q_e > 0) \quad (4e)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_a} = u'_a(q_a) - \lambda \leq 0 \quad (= 0 \text{ si } q_a > 0) \quad (4a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_r} = \lambda - c'_r(q_r) \leq 0 \quad (= 0 \text{ si } q_r > 0) \quad (5)$$

La quantité d'eau allouée à l'agent i est donc $q_i(\lambda) = \max\{u_i'^{-1}(\lambda), 0\}$. La consommation collective de l'eau en tant que bien privé s'obtient par sommation des consommations individuelles consommées. Graphiquement, comme on peut le voir sur la Figure 4, il faut sommer les utilités marginales individuelles horizontalement pour obtenir l'utilité marginale collective.

Deux principaux types de configurations peuvent apparaître comme optimales selon que le coût marginal de production du bien « eau » est élevé ou faible.³⁶ Ces deux configurations, illustrées à la Figure 4, sont les suivantes :

- quand le coût marginal de production d'eau est élevé, courbe $\bar{c}'_r(\cdot)$ sur la figure, la solution est donnée par l'abscisse du point A :

$$q_a^* = 0 \quad , \quad q_e^* = q_r^* < \hat{q}_r \quad \Rightarrow \quad \bar{c}'_r(q_r^*) = u'_e(q_r^*) > u'_a(0) ,$$

où \hat{q}_r est le volume d'eau q_r pour lequel $u'_e(q_r) = u'_a(0)$

- quand le coût marginal de production d'eau est faible, courbe $\underline{c}'_r(\cdot)$ sur la figure, la solution est donnée par les abscisses des points B_a et B_e :

$$0 < q_a^* < q_e^* \quad , \quad q_a^* + q_e^* = q_r^* > \hat{q}_r \quad \Rightarrow \quad \underline{c}'_r(q_r^*) = u'_e(q_e^*) = u'_a(q_a^*) < u'_a(0) .$$

Dans le premier cas, le coût de production est tellement élevé que la rareté relative de l'eau qui en résulte, mesurée par λ , commande d'utiliser la totalité de sa production à la seule production d'électricité. Sur la Figure 4, le point A est le point auquel le coût marginal

³⁶ Nous laissons de côté les cas extrêmes, celui dans lequel le coût est tellement élevé que personne n'est servi et, à l'inverse, celui dans lequel le coût marginal est nul de sorte que les deux usagers sont approvisionnés jusqu'à saturation de leurs besoins (sous réserve que le surplus net social ne soit pas négatif)..

de production est égal à la valorisation marginale de l'électricité sachant que ce qui doit être livré au secteur agricole est nul, $q_a^* = 0$.

Dans le second cas, il est possible, car le coût marginal est faible, d'égaliser les valorisations marginales de chaque secteur au coût marginal de production de la somme des quantités que chacun voudrait se voir allouer à un prix égal à ce coût marginal. Donc les deux utilisateurs doivent être servis. La production totale à réaliser est l'abscisse du point B et la quantité correspondant au point B_a (resp. B_e) revient à l'agriculteur (resp. à l'électricien).

Les deux usages « se cannibalisent » : chaque secteur reçoit dans l'allocation optimale moins que ce qu'il recevrait s'il était seul : le point B_a (resp. B_e) est à gauche du point B'_a (resp. B'_e) qui correspond à l'optimum lorsqu'on ne tient compte que des seuls besoins de l'agriculteur (respectivement de l'électricien).

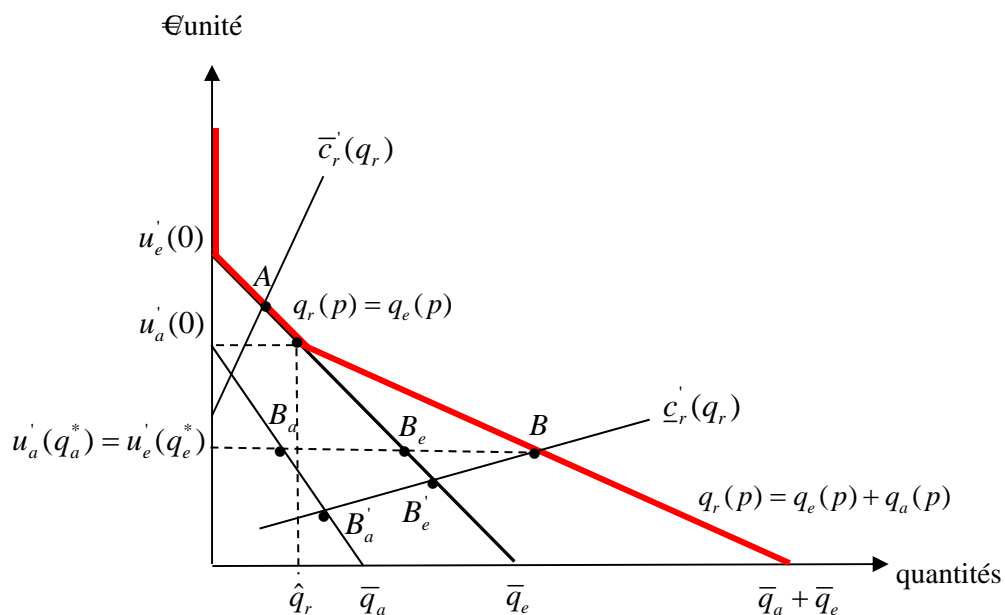


Figure 4 : Règle de production d'un bien privé

b) Les configurations optimales décrites au paragraphe précédent peuvent être décentralisées par un marché concurrentiel. En effet, les deux utilisateurs résolvent respectivement

$$\max_{q_e} u_e(q_e) - pq_e \text{ et } \max_{q_a} u_a(q_a) - pq_a$$

Ils demandent donc une quantité totale $q_a(p) + q_e(p)$ pour la quelle $u'_e(q_e) = p = u'_a(q_a)$ si $p < u'_a(0)$, et réduite à $q_e(p)$ sinon.

De son côté, le gestionnaire de la ressource résout

$$\max_{q_r} pq_r - c_r(q_r),$$

Il offre donc la quantité $q_r(p)$ pour laquelle $p = c'_r(q_r)$.

On en déduit que le prix d'équilibre sur le marché de l'eau est p^* défini par

$$q_a(p^*) + q_e(p^*) = q_r(p^*).$$

A ce prix,

$$u'_a(q_a^*) = u'_e(q_e^*) = c'_r(q_r^*) \text{ si } q_r^* > \hat{q}_r \text{ et } u'_a(0) < u'_e(q_r^*) = c'_r(q_r^*) \text{ si } q_r^* > \hat{q}_r$$

où \hat{q}_r est l'abscisse du coude de la demande totale, c'est-à-dire la quantité demandée par l'électricien au prix à partir duquel la demande des agriculteurs commence à être positive : $\hat{q}_r = q_e(u'_a(0))$.

L'équilibre est caractérisé par un seul prix qui sert d'indicateur

- des utilités retirées des usages de la ressource par les deux consommateurs, l'agriculteur et l'électricien qui sont ici en concurrence, signal transmis au gestionnaire de l'eau,
- du coût supporté par le gestionnaire de l'eau, signal transmis aux deux types d'utilisateurs.

Dans sa dimension privée, l'eau peut faire l'objet de transactions par le marché. La demande exprimée est la demande réelle. Donc le signal prix permet de coordonner de façon optimale les différentes parties prenantes. Le caractère privé de la ressource exclut toute possibilité de comportement de passager clandestin.

2. Gestion des entrées et sorties d'un barrage

La gestion des entrées et sorties d'un barrage doit :

- combiner les deux dimensions, privée et publique, présentées dans la section précédente,
- prendre explicitement en compte la dimension temporelle de la gestion de la ressource,
- préciser les contraintes de stock et de flux induites par la capacité de retenue du barrage et par les apports naturels en eau.

Lorsque l'électricien et l'agriculteur sont localisés dans la même vallée, l'eau présente certaines des caractéristiques d'un bien public. En revanche, dans un modèle dynamique (ici réduit à deux périodes), l'eau relâchée à la première période est perdue³⁷ pour la seconde et l'eau conservée pour la seconde période ne peut pas être utilisée à la première.³⁸ L'eau présente alors aussi les caractéristiques d'un bien privé pour lequel il y a conflit d'usage.

Dans la section 2.1, nous supposons que la technologie de « production d'eau » est réduite à sa plus simple expression : le gestionnaire de la ressource dispose d'un stock S qu'il peut relâcher partiellement ou totalement au cours de deux périodes. L'eau est donc ici une ressource non renouvelable. Nous déterminons ses conditions d'utilisation optimale pour deux types d'usage au cours de deux périodes. Dans la section 2.2, nous déduisons la règle de Hotelling qui régit l'évolution du prix d'une ressource renouvelable au cours du temps. Enfin la section 2.3. est consacrée à l'étude de cas particuliers de corrélation positive ou négative entre les valeurs d'usages à chaque période.

³⁷ En fait l'eau n'est jamais détruite, elle est simplement déplacée. Mais si elle est lâchée en période 1, elle n'est plus disponible sur les lieux de consommation qui nous intéressent en période 2. Elle est ailleurs, hors du champ du modèle.

³⁸ S'il y a des stations de pompage et un bassin de récupération en aval, l'eau lâchée à la période 1 peut être partiellement récupérée à la période 2 (voir Crampes et Moreaux (2010)).

2.1. Allocation optimale d'un stock d'eau

Notons $t = 1, 2$ les deux périodes entre lesquelles le stock d'eau doit réparti et β le facteur d'escompte. Compte tenu d'une quantité d'eau disponible S non renouvelable qui peut être relâchée sans coût, les variables à déterminer pour réaliser l'allocation optimale sont :³⁹

q_{rt} , les quantités à relâcher à chaque période $t = 1, 2$

q_{at} , les quantités à consommer à chaque période $t = 1, 2$ dans le secteur agricole

q_{et} , les quantités à consommer à chaque période $t = 1, 2$ pour produire de l'électricité.

Nous supposons pour l'instant que l'utilité de l'agent i à la période t ne dépend que de sa consommation à cette période.

Les quantités à affecter à chaque agent à chaque période sont déterminées comme les solutions du problème suivant :

$$\max_{\{q_{rt}, q_{at}, q_{et}\}_{t=1,2}} \sum_{t=1}^2 \beta^{t-1} [u_{at}(q_{at}) + u_{et}(q_{et})]$$

sous les contraintes

$$q_{at} \leq q_{rt} \quad t = 1, 2 \quad (\lambda_{at})$$

$$q_{et} \leq q_{rt} \quad t = 1, 2 \quad (\lambda_{et})$$

$$q_{r1} + q_{r2} \leq S \quad (\gamma)$$

Le lagrangien du problème est donc :

$$L = \sum_{t=1}^2 \left\{ \beta^{t-1} [u_{at}(q_{at}) + u_{et}(q_{et})] + \lambda_{at}(q_{rt} - q_{at}) + \lambda_{et}(q_{rt} - q_{et}) \right\} + \gamma(S - q_{r1} - q_{r2})$$

³⁹ On suppose que seule l'eau relâchée a une utilité. Tant qu'elle reste dans le barrage il n'y a aucune activité de baignade, canoë ou pêche et elle ne génère donc aucun surplus. Par ailleurs, le modèle ne prend pas en compte les caractéristiques physiques du barrage. Par exemple, la puissance électrique générée ne dépend pas ici de la hauteur de l'eau stockée.

Les conditions de premier ordre ont pour expression :

$$\begin{aligned}
 q_{a1} : \quad u'_{a1}(q_{a1}) - \lambda_{a1} &\leq 0 & (6_{a1}) \\
 q_{e1} : \quad u'_{e1}(q_{e1}) - \lambda_{e1} &\leq 0 & (6_{e1}) \\
 q_{a2} : \quad \beta u'_{a2}(q_{a2}) - \lambda_{a2} &\leq 0 & (6_{a2}) \\
 q_{e2} : \quad \beta u'_{e2}(q_{e2}) - \lambda_{e2} &\leq 0 & (6_{e2}) \\
 q_{r1} : \quad -\gamma + \lambda_{a1} + \lambda_{e1} &\leq 0 & (6_{r1}) \\
 q_{r2} : \quad -\gamma + \lambda_{a2} + \lambda_{e2} &\leq 0 & (6_{r2})
 \end{aligned}$$

où chaque inégalité faible est une égalité si la variable correspondante est strictement positive.

Par ailleurs, les conditions d'écarts complémentaires imposent que les contraintes du problème soient satisfaites au point solution, que leurs variables duales correspondantes ne soient pas négatives et que, de plus :

$$(q_{rt} - q_{at}) \lambda_{at} = 0 \quad t = 1, 2 \quad (7_a)$$

$$(q_{rt} - q_{et}) \lambda_{et} = 0 \quad t = 1, 2 \quad (7_e)$$

$$(S - q_{r1} - q_{r2}) \gamma = 0 \quad (7_r)$$

Avant de traiter quelques cas particuliers illustratifs de problèmes réels, notons que des inégalités caractérisant les conditions de premier ordre on déduit que :

$$\gamma \geq \max \left\{ u'_{a1}(q_{a1}) + u'_{e1}(q_{e1}), \quad \beta \left[u'_{a2}(q_{a2}) + u'_{e2}(q_{e2}) \right] \right\} \quad (8)$$

Cette condition d'optimalité met bien en évidence la dualité privée/publique de la ressource. En effet, cette inégalité établit que la valorisation du stock S d'eau mesurée par la variable duale γ est donnée par **la plus grande de ses deux valeurs d'usages**, celle de la période 1 ou celle de la période 2 (actualisée en 1 par le facteur β). Cette propriété est caractéristique d'un bien privé comme nous l'avons vu dans la section 1.2. Mais, à chaque période, c'est **la somme des valeurs d'usages** pour les différents consommateurs qui sert d'indicateur d'utilité comme pour tout bien public (voir *supra* section 1.1).

2.2. La règle de Hotelling

Plaçons-nous d'abord dans la situation particulière suivante :

- un stock d'eau S peu important,
- pour les deux types de consommateurs, des valeurs d'usage aux deux périodes peu différentes l'une de l'autre,
- un facteur d'escompte suffisamment proche de 1.

Il est facile d'en déduire sans recourir à une démonstration formelle que

- puisque l'eau est peu abondante, elle doit être totalement utilisée :

$$q_{r1} + q_{r2} = S,$$

- puisque les besoins diffèrent peu d'un type agent à l'autre et d'une période à l'autre, il faut servir les deux types de consommateurs aux deux périodes :

$$q_{a1} = q_{e1} = q_{r1} > 0 \text{ et } q_{a2} = q_{e2} = q_{r2} > 0.$$

Toutes les conditions du premier ordre (6) sont alors des égalités. Il en résulte un système de deux équations à deux inconnues :

$$u'_{a1}(q_{r1}) + u'_{e1}(q_{r1}) = \beta [u'_{a2}(q_{r2}) + u'_{e2}(q_{r2})] \text{ et } q_{r1} + q_{r2} = S.$$

Notons

$$u'_{rt}(q_{rt}) \stackrel{def}{=} u'_{at}(q_{rt}) + u'_{et}(q_{rt})$$

la valeur totale de la consommation commune q_{rt} en $t = 1, 2$. La solution peut-être illustrée en traçant dans la Figure 5 la fonction $u'_{r1}(q_{r1})$ et la fonction $\beta u'_{r2}(S - q_{r1})$, fonctions respectivement décroissante⁴⁰ et croissante de q_{r1} puisque $u''_{rt} < 0$, $t = 1, 2$.

⁴⁰ Dans la Figure 3, $u'_{rt}(q_{rt})$ est la fonction linéaire par morceaux représentée en trait gras. Pour simplifier la Figure 5, nous avons tracé une fonction régulièrement décroissante.

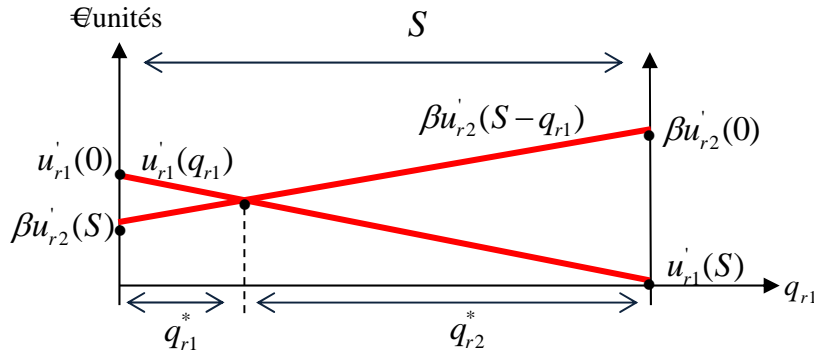


Figure 5 : Allocation intertemporelle de la ressource en eau

L'optimum est atteint quand le stock d'eau est épuisé et les deux valorisations marginales totales actualisées sont égales en valeurs actualisées :

$$u'_{r1}(q_{r1}^*) = \beta u'_{r2}(q_{r2}^*)$$

Notons $i = \frac{1}{\beta} - 1$ le taux de l'intérêt entre les deux périodes. La relation précédente

s'écrit alors :

$$u'_{r2}(q_{r2}^*) = (1+i)u'_{r1}(q_{r1}^*) \quad (9)$$

Le partage optimal de la ressource entre les deux périodes peut donc se régler concurrentiellement en fixant un prix de l'eau à la période 1 égal à la valeur marginale totale de la ressource à cette période, $p_1 = \gamma$, et qui augmente à un taux égal au taux de l'intérêt de la première période à la seconde :

$$p_2 = (1+i)p_1 \quad (10).$$

C'est la règle de Hotelling (1931) qui régit l'évolution du prix d'une ressource non renouvelable au cours du temps lorsque son coût marginal est constant, en l'occurrence 0 dans le présent contexte.

Cependant, le problème de l'expression des valeurs d'usages individuelles à chaque période reste entier. En effet, face au prix p_t et à sa décomposition en prix de Lindhal $p_t = p_{at} + p_{et}$, il est de l'intérêt individuel de chaque utilisateur de dissimuler sa demande

d'eau comme nous l'avons vu dans la section 1.1. Diverses solutions ont été expérimentées en différents lieux à différentes périodes.

L'une consiste, conformément au principe théorisé par Coase (1960), à distribuer des droits de propriété sur la ressource à un ou plusieurs usagers. Ceux-ci font commerce avec les autres usagers en arbitrant entre les bénéfices qu'ils peuvent eux-mêmes tirer de l'exploitation de la ressource et les redevances qu'ils peuvent faire payer aux autres usagers et qui dépendent du potentiel de valorisation de ceux-ci. L'encart de la page suivante en donne une bonne illustration, bien qu'il concerne une période antérieure au développement de l'hydroélectricité. Cette solution abandonne aux titulaires des droits de propriété le problème de l'expression de la disposition à payer des non-titulaires. Elle est donc envisageable localement, à petite échelle, comme dans l'exemple des lâchures de navigation. En revanche, plus le nombre des consommateurs potentiels concernés est élevé, plus elle est difficile à mettre en œuvre puisqu'alors, compte tenu du coût de l'exclusion d'usage, les occasions offertes aux passagers clandestins se multiplient.

Une autre solution s'est progressivement imposée avec la montée en puissance de l'industrie électrique. Elle consiste à confier, contre redevance, la gestion de la ressource à l'électricien qui, pour des raisons techniques, est l'utilisateur situé le plus en amont, tout en lui imposant un cahier des charges et un règlement d'eau couvrant les besoins des autres usagers.⁴¹ Les contraintes de flux qui découlent de ces obligations sont rémunérées ou non. Quand elles le sont, c'est par un système de tarifs administrés et non par l'intermédiaire d'un marché.

⁴¹ Voir www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cahiercharges290908-entrep-hydrau.pdf pour le cahier des charges et, pour le règlement d'eau, www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006839986&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20100714

MARNE.

La Marne est navigable depuis le port situé à 150^m en aval du pont de Saint-Dizier jusqu'à son embouchure dans la Seine, près Paris.

Entre Saint-Dizier et l'origine du canal latéral, à 3^k environ au-dessous de Vitry-le-François, la navigation ne peut avoir lieu à la remonte ; celle qui se fait en descente est encore difficile et précaire, nonobstant l'exécution des barrages de la Valotte et de la Neuville. Le premier a été exécuté en 1848, et le second en 1853. Avant l'établissement de ces barrages, les mariniers étaient obligés, pendant la durée des basses eaux, d'aller réclamer, des usiniers supérieurs, des flots ou lâchures qui ne leur étaient accordés qu'à grand' peine et à un prix fort élevé : un grand flot ne coûtait pas moins de 600^f, et il s'en livrait moyennement huit ou dix par an.

(Ernest Grangez (1855) *Précis historique et statistique des voies navigables de la France et d'une partie de la Belgique*, Librairie centrale de Napoléon Chaix, Paris, page 365)

476

OISE.

On facilite la navigation au moyen de lâchures à Chauny et Sempigny. Les lâchures faites à ce dernier point, pour le passage des trains, se paient 10^f pour chacun d'eux. Moyennant cette redevance, le préposé ouvre et ferme le barrage, fournit les cordages, remplace les aiguilles qui manquent et solde les aides qu'il emploie.

Le service est régi par un arrêté du préfet de l'Oise, en date du 24 janvier 1853, rendu conformément à une décision, du 18 du même mois, du ministre des travaux publics.

(Ernest Grangez, *ibid.* page 476)

Terminons cette section par deux remarques.

* La condition (9) qui veut que la valorisation marginale de la ressource augmente au taux de l'intérêt, et donc la condition (10) qui veut que le prix concurrentiel augmente au taux de l'intérêt, ne signifient pas que la quantité d'eau relâchée doive diminuer au taux d'intérêt. Elles ne signifient même pas que la quantité doive diminuer entre la période 1 et la période 2. Si la période 2 est la période de pointe, il est fort probable que la quantité d'eau utilisée optimale sera croissante, $q_{r2}^* > q_{r1}^*$, comme c'est le cas dans la Figure 5.

* La Figure 5 peut être lue de façon statique en interprétant la courbe représentant $\beta u'_{r2}(S - q_{r1})$, comme le coût marginal statique de la production d'un volume q_{r1} :

$$c'_{r1}(q_{r1}) \stackrel{def}{=} \beta u'_{r2}(S - q_{r1}),$$

fonction croissante en q_{r1} puisque l'utilité marginale de la consommation en 2 est décroissante. De fait, le coût économique du déstockage de la quantité q_{r1} à la date 1, son coût d'opportunité, est la valeur de la privation de consommation qu'il impose à la date 2. La règle optimale de prélèvement en 1 est donc simplement l'égalité entre utilité marginale et coût marginal

$$u'_{r1}(q_{r1}^*) = c'_{r1}(q_{r1}^*)$$

ce dernier étant nul dans le cas où la ressource est tellement abondante qu'elle ne sera pas totalement épuisée à l'issue de la période 2.⁴²

⁴² En utilisant la Figure 5, le lecteur peut imaginer ce qui se passe quand la quantité d'eau disponible S devient de plus en plus grande. Le graphique s'étire horizontalement jusqu'à atteindre une situation dans laquelle les fonctions $u'_{r1}(q_{r1})$ et $u'_{r2}(S - q_{r1})$ ne se coupent plus dans le quadrant positif. A partir de là, un accroissement du stock d'eau a une utilité nulle. La ressource a un prix nul.

2.3. Demandes corrélées

Les besoins des différents types d'utilisateurs de l'eau reflètent l'utilisation industrielle, agricole ou résidentielle qu'ils en font. Les relations entre ces besoins sont donc très variées. Par exemple, alors que nous avons supposé que les fonctions d'utilité des agents sont additivement séparables dans le temps, il est probable qu'il existe certaines formes de substituabilité ou de complémentarité dans la satisfaction des besoins. Ainsi, pour l'agriculteur, au lieu de $u_a(q_{a1}, q_{a2}) \stackrel{def}{=} u_{a1}(q_{a1}) + \beta u_{a2}(q_{a2})$ comme nous l'avons supposé dans les sections précédentes, on pourrait utiliser une formulation plus générale telle que $u_a(q_{a1}, q_{a2}) \stackrel{def}{=} v_{a1}(q_{a1}, q_{a2}) + \beta v_{a2}(q_{a1}, q_{a2})$ pour tenir compte de reports intertemporels liés à des possibilités de stockage de l'eau en terre ou de la présence d'une retenue colinéaire dont l'agriculteur serait seul à bénéficier. Avec $\frac{\partial^2 u_a(q_{a1}, q_{a2})}{\partial q_{a1} \partial q_{a2}} < 0$, il est possible de compenser, dans une certaine mesure, les faibles apports d'une période par des apports plus abondants à l'autre période. Au lieu de possibilités de substitution intertemporelle, on peut avoir, au contraire, des formes de complémentarité, par exemple une complémentarité stricte si $u_a(0, q_{a2}) \equiv 0 \forall q_{a2}$, les plantes cultivées devant être alimentées régulièrement en eau tout au long du cycle.

Il faut prendre alors en compte, en plus de la relation inter-temporelle créée par la rareté de la ressource en eau, des interrelations entre les besoins qui complexifient leur expression sous forme de fonctions de demande. Dans ce cadre plus général, les relations essentielles établies précédemment restent vérifiées, notamment la règle de Hotelling comme cela est démontré dans l'Annexe 2.

Plutôt que de nous perdre dans l'examen des très nombreuses combinaisons de cas imaginables, pour mettre encore une fois en lumière la dualité privée-publique de l'eau, nous nous limiterons à l'examen successivement du cas dans lequel les deux usagers de l'eau ont des besoins élevés à la même période et de celui dans lequel les besoins de l'un sont élevés quand ceux de l'autre sont faibles, tout en restant dans la situation où chacun des deux usagers a une fonction d'utilité additive et séparable. Pour éviter de traiter une

multiplicité de possibilités, nous supposons aussi que la quantité d'eau disponible est peu importante de sorte que la totalité du stock sera allouée entre les deux périodes :

$$q_{r1} + q_{r2} = S$$

- a. Supposons que les valorisations des deux types de consommateurs soient plus grandes à la période 1 qu'à la période 2. Elles sont corrélées positivement :

$$u'_{a1}(q) > u'_{a2}(q) \text{ et } u'_{e1}(q) > u'_{e2}(q) \quad \forall q \in R_+$$

où
$$u'_{jt}(q) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{du_{jt}(q)}{dq}, \quad t = 1, 2; j = a, e.$$

Puisque la période 1 est la période de pointe pour les deux consommateurs, il est évident que $u'_{r1}(q) > u'_{r2}(q) > \beta u'_{r2}(q) \quad \forall q$. Donc il serait inefficace de lâcher moins d'eau en période 1 que en période 2.

En se référant à la Figure 5, on voit que deux cas peuvent se présenter :

- si $u'_{r1}(S) > \beta u'_{r2}(0)$ le stock d'eau est mieux valorisé en étant totalement consommé à la période de pointe. La solution optimale est une solution en coin $q_{r1}^* = S, q_{r2}^* = 0$. Les prix concurrentiels qui décentralisent l'optimum sont $p_1 = u'_{r1}(S)$ et $p_2 = (1+i)p_1$ où $\beta = (1+i)^{-1}$, c'est à dire la règle de Hotelling (10) qui donne la condition d'un arbitrage à la marge entre les deux périodes. En effet, à la période 1, la solution de $\max_{q_{r1}} u_{r1}(q_{r1}) - u'_{r1}(S)q_{r1}$ donne bien $q_{r1} = S$ et la solution de $\max_{q_{r2}} u_{r2}(q_{r2}) - \frac{u'_{r1}(S)}{\beta}q_{r2}$ donne bien $q_{r2} = 0$ puisque $u'_{r2}(0) < \frac{u'_{r1}(S)}{\beta}$.

- si au contraire nous avons $u'_{r1}(S) < \beta u'_{r2}(0)$ comme c'est le cas des courbes tracées à la Figure 5, nous sommes revenus à la configuration de la section 2.2. Le stock d'eau doit être réparti entre les deux périodes malgré les préférences des agents biaisées en faveur de la période 1. On a alors la solution intérieure $q_{r1}^* > q_{r2}^* = S - q_{r1}^* > 0$ et, encore une fois, la règle d'arbitrage de Hotelling s'applique.

Le point commun à ces deux situations est qu'il n'y a pas de conflit sur la date d'usage intensif de la ressource entre les deux types de consommateurs. Comme leurs besoins sont corrélés positivement, ils sont d'accord sur le fait que les livraisons d'eau

doivent être plus importantes à la période 1, voire nulles à la période 2. La dimension « bien public » l'emporte sur la dimension « bien privé » et c'est donc plutôt un problème de facturation que va rencontrer le gestionnaire de la ressource.

b. Au contraire, si les deux usages sont corrélés négativement, la concurrence entre les deux types de consommateurs de l'eau porte plutôt sur la date de livraison : c'est l'aspect « bien privé » qui prédomine. Parmi les diverses combinaisons possibles des valorisations marginales de l'eau par les deux agents aux deux périodes, retenons celle où la période 1 est l'hiver, période de forte valorisation de l'eau pour l'électricien, et la période 2 est l'été, période où l'agriculteur a le plus besoin d'eau. Sans station de pompage et sans bassin de stockage, les deux usagers sont en concurrence. Cependant, tant que chacun a quelque besoin pendant sa période hors pointe, la nature de bien public de l'eau empêche que la satisfaction de l'un des besoins puisse exclure totalement l'autre type de consommation.

L'une des situations possibles est celle dans laquelle l'optimum est déterminé par les valeurs marginales privées des deux besoins de pointe. La solution définie par

$$u'_{e1}(q_{e1}) = \beta u'_{a2}(q_{a2}) \text{ et } q_{e1} + q_{a2} = S \text{ donne :}$$

$$\begin{aligned} q_{e1}^* &= q_{r1}^* > q_{a1}^* = \bar{q}_{a1} \\ q_{a2}^* &= q_{r2}^* > q_{e2}^* = \bar{q}_{e2} \end{aligned}$$

Dans ce cas, ni l'électricien l'été, ni l'agriculteur l'hiver n'utilise toute l'eau disponible, d'où $u'_{a1}(\bar{q}_{a1}) = 0$ et $u'_{e2}(\bar{q}_{e2}) = 0$. Leur consommation n'a donc pas à être prise en compte dans le calcul des quantités d'eau à consommer. La décentralisation par le marché en est facilitée puisque un seul des deux types de consommateur doit payer à hauteur de son utilité marginale pendant sa période de demande de pointe.

Les deux situations particulières que nous venons d'analyser mettent en évidence les difficultés d'organiser une gestion efficiente de l'eau. Le marché est le meilleur outil pour régler la dimension privée, donc les allocations du stock aux différentes périodes. En revanche, la dimension bien public ouvre la porte aux comportements de passager clandestin. L'intervention de la puissance publique est alors nécessaire, soit directement (dotations, redevances), soit indirectement (allocation de droits négociables), les deux types d'intervention pouvant être combinés.

Conclusion de la Partie 1

Le modèle microéconomique discret à deux périodes et deux agents permet de mettre en lumière la complexité de la gestion optimale de l'eau, un bien qu'il faut allouer en fonction d'intérêts partiellement convergents (bien public) et partiellement divergents (bien privé). Il laisse aussi deviner la complexité de la tâche qui attend les pouvoirs publics lorsqu'ils cherchent à créer un cadre juridique qui promeut une gestion efficiente et équitable de la ressource en eau. L'avènement de l'hydroélectricité a permis aux opérateurs de centrales de retenue d'occuper une position de force puisqu'ils sont simultanément premiers utilisateurs en amont et contrôleurs des débits vers l'aval. Pendant près d'un siècle, ces centrales ont fait l'objet de contrats de concession accordés par l'Etat à des entreprises privées sous des contraintes de lâchures appelées à satisfaire les besoins des autres usagers. Ces contrats étaient négociés de gré à gré entre le gouvernement et une entreprise privée, avec reconduction préférentielle de l'opérateur en place à l'issue du contrat. Avec l'ouverture à la concurrence de l'industrie électrique dans l'Union européenne, le droit de préférence a dû être supprimé en 2006.

Pour désigner l'opérateur des centrales dont les contrats étaient arrivés à échéance, le gouvernement Fillon avait envisagé un cadre de concurrence entre entreprises privées. Après plusieurs hésitations dues à des changements répétés de ministres en charge de l'énergie, le gouvernement actuel penche plutôt pour la création de sociétés d'économie mixte réunissant l'Etat, des collectivités locales et un opérateur privé. La forme définitive de ces SEM n'est pas arrêtée, d'autant qu'il n'est pas certain qu'elles satisfassent les conditions communautaires en matière de concurrence.

Pour juger de la pertinence du cadre juridique à venir, il est nécessaire d'aller plus loin dans l'analyse normative de la gestion des barrages hydroélectriques. C'est l'objet de la partie 2 de cette étude dans laquelle nous utilisons un modèle continu pour déterminer les règles dynamiques de gestion de l'eau en présence de contraintes de stock et de débit.

Références bibliographiques

- Bordes, JL (2010) « Les barrages en France du XVIII^e à la fin du XX^e siècle. Histoire, évolution technique et transmission du savoir », *Pour Mémoire*, n°9, hiver, p. 70-120.
- Coase, R. (1960) "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics*, 1, October, www.sfu.ca/~allen/CoaseJLE1960.pdf
- Crampes C. et M. Moreaux (2010) "Pumped storage and cost saving", *Energy Economics*, vol. 32, Issue 2, March, 325-333.
- Dupont D. et S. Renzetti (2001) "The Role of Water in Manufacturing", *Environmental and Resource Economics* 18(4): 411-432.
- Edwards B. K. (2003) "The economics of hydroelectric power", *Edward Elgar*, Cheltenham, UK.
- Glachant J.M., Rious V., Saguan M. & Douguet M. (2014) « For a harmonisation of hydropower regimes in Europe », Florence School of Regulation, Policy brief, October
- Grangez, E (1855) "Précis historique et statistique des *voies navigables de la France et d'une partie de la Belgique*", Librairie centrale de Napoléon Chaix, Paris, page 365.
- Hotelling H. (1931) "The economics of exhaustible resources", *Journal of Political Economy*, vol. 39, 137-175.
- IEA-International Energy Agency (2012), "Technology Roadmap. Hydropower", <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydropower.pdf>
- Lindhal E. (1919) "Positive Lösung" in "Die Gerechtigkeit Besteuerung" p. 85-98, Lund. Trad. "Just taxation. A positive solution" in Musgrave and Peacock (1958), *Classics in the theory of public finance*, London: Mcmillan. www.econ.ucsb.edu/~tedb/Courses/UCSBpf/readings/lindahl.pdf
- Rapp L. (2010) « Quasi régie, quasi régime » L'actualité juridique, droit administrative (AJDA) p.588-595.
- Rapp L. (2014) « Partenariats public-privé » dans P. Malinvaud (dir.) « Droit de la construction », Dalloz.

Annexe 1

Extrait du projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte

(adopté par l'Assemblée nationale le 14 octobre 2014)

Article 29

I. – Le chapitre Ier du titre II du livre V du code de l'énergie est complété par une section 5 ainsi rédigée :

« Section 5 : Les sociétés d'économie mixte hydroélectriques

« Art. L. 521-18. – I. – Pour assurer l'exécution d'une concession prévue à l'article L. 511-5, l'État peut créer, avec au moins un opérateur économique, qualifié d'actionnaire opérateur, et, le cas échéant, avec les personnes morales mentionnées aux III et IV du présent article, une société d'économie mixte hydroélectrique.

« Cette société d'économie mixte à opération unique est constituée pour une durée limitée en vue de la conclusion et de l'exécution, dans les conditions définies au présent titre II, d'une concession dont l'objet est l'aménagement et l'exploitation, selon les modalités fixées au cahier des charges prévu à l'article L. 521-4, d'une ou de plusieurs installations constituant une chaîne d'aménagements hydrauliquement liés. Cet objet unique ne peut pas être modifié pendant toute la durée du contrat.

« II. – La société d'économie mixte hydroélectrique revêt la forme de société anonyme régie par le chapitre V du titre II et le titre III du livre II du code de commerce, sous réserve des dispositions de la présente section. Elle est composée, par dérogation à l'article L. 225-1 du même code, d'au moins deux actionnaires.

« III. – Dans le cadre des compétences qui leur sont reconnues par la loi en matière de gestion équilibrée des usages de l'eau, de distribution publique d'électricité ou de production d'énergie renouvelable, les collectivités territoriales ou les groupements de collectivités territoriales riveraines des cours d'eau dont la force hydraulique est exploitée en vertu de la concession mentionnée au I peuvent, si l'État approuve leur demande à cet effet, devenir actionnaires de la société d'économie mixte hydroélectrique, dans les conditions et selon les modalités prévues par décret en Conseil d'État.

« Les modalités de participation de ces collectivités territoriales ou de leurs groupements au capital d'une société d'économie mixte hydroélectrique, notamment leurs concours

financiers, sont régies par le titre II du livre V de la première partie du code général des collectivités territoriales, sous réserve des dispositions de la présente section.

« IV. – Si l'État le leur demande et si elles y consentent, d'autres personnes morales de droit public et des entreprises ou des organismes dont le capital est exclusivement détenu par des personnes morales de droit public, qualifiés de partenaires publics, peuvent également devenir actionnaires de la société d'économie mixte hydroélectrique.

« V. – Les statuts de la société d'économie mixte hydroélectrique ou un pacte d'actionnaires fixent le nombre de sièges d'administrateur ou de membres du conseil de surveillance attribués à chaque actionnaire.

« L'État et, le cas échéant, les collectivités territoriales mentionnées au III et les partenaires publics mentionnés au IV détiennent conjointement 34 % au moins du capital de la société et 34 % au moins des droits de vote dans les organes délibérants. La part du capital et des droits de vote détenue par l'actionnaire opérateur ne peut être inférieure à 34 %.

« Les règles régissant l'évolution du capital de la société d'économie mixte hydroélectrique sont déterminées par les statuts de la société ou par le pacte d'actionnaires. Ces règles ne peuvent faire obstacle à ce que l'État reste actionnaire de la société pendant toute la durée de la concession.

« VI. – La société d'économie mixte hydroélectrique est dissoute de plein droit au terme de l'exécution de la concession ou à la suite de sa résiliation.

« Art. L. 521-19. – Les modalités d'association de l'État, des collectivités territoriales ou de leurs groupements et des partenaires publics au sein de la société d'économie mixte hydroélectrique, en application des III et IV de l'article L. 521-18, font l'objet d'un accord préalable à la sélection de l'actionnaire opérateur.

« Cet accord préalable comporte notamment :

« 1° Les principales caractéristiques de la société d'économie mixte hydroélectrique : la part de capital que l'État, les collectivités territoriales ou leurs groupements et les partenaires publics souhaitent détenir ; les règles de gouvernance et les modalités de contrôle dont l'État, les collectivités territoriales et les partenaires publics souhaitent disposer sur l'activité de la société définies, le cas échéant, dans le pacte d'actionnaires et les règles de dévolution des actif et passif de la société lors de sa dissolution ;

« 2° Une estimation provisoire de la quote-part des investissements initiaux à la charge de l'État, des collectivités territoriales ou de leurs groupements et des partenaires publics. Cette estimation est établie sur la base de l'évaluation prévisionnelle, au stade du lancement de la procédure unique d'appel public à la concurrence mentionnée à l'article L. 521-20, du montant des investissements initiaux.

« Les collectivités territoriales ou leurs groupements approuvent les modalités de leur participation par délibération de leur assemblée délibérante ou de leur organe délibérant.

« Art. L. 521-20. – I. – La sélection de l'actionnaire opérateur mentionné au I de l'article L. 521-18 et l'attribution à la société d'économie mixte hydroélectrique de la concession interviennent au terme d'une procédure unique d'appel public à la concurrence, qui respecte les mêmes règles et critères d'attribution que la procédure prévue à l'article L. 521-16 et qui est conduite par l'État selon des modalités définies par décret en Conseil d'État.

« II. – Dans le cadre des formalités de publicité prescrites par le décret prévu au I, l'État porte à la connaissance de l'ensemble des candidats les principales conditions qu'il a définies pour la conclusion du contrat de concession avec la société d'économie mixte hydroélectrique.

« Ces conditions portent notamment sur :

« 1° Les modalités d'association de l'État, des collectivités territoriales ou de leurs groupements et des partenaires publics au sein de la société d'économie mixte hydroélectrique, définies dans l'accord préalable mentionné à l'article L. 521-19 ;

« 2° Les projets de statuts de la société d'économie mixte hydroélectrique à créer, ainsi que l'ensemble des éléments appelés à régir les relations entre l'actionnaire opérateur et l'État, les collectivités territoriales ou leurs groupements et les partenaires publics qui seront actionnaires de cette société d'économie mixte ;

« 3° Les caractéristiques principales du contrat de concession qui sera conclu entre l'État et la société d'économie mixte hydroélectrique et du cahier des charges qui lui sera annexé ;

« 4° Les modalités selon lesquelles la société d'économie mixte hydroélectrique pourra conclure des contrats concourant à l'exécution de la concession, notamment des contrats de gré à gré avec l'actionnaire opérateur ou les filiales qui lui sont liées.

« III. – Les offres des candidats à la procédure unique d'appel public à la concurrence indiquent, selon les modalités définies par l'État lors de cette procédure, les moyens

techniques et financiers qu'ils s'engagent à apporter à la société d'économie mixte hydroélectrique pour lui permettre d'assurer l'exécution de la concession, ainsi que les contrats qui devront être conclus par cette société pour la réalisation de sa mission.

« IV. – Ne peuvent soumissionner à la procédure unique d'appel public à la concurrence prévue au présent article les personnes mentionnées à l'article 8 de l'ordonnance n° 2005-649 du 6 juin 2005 relative aux marchés passés par certaines personnes publiques ou privées non soumises au code des marchés publics. »

Annexe 2

Equilibre et optimum dans la gestion de l'eau

* On se place dans le cas plus général où il existe des relations de complémentarité ou de substituabilité entre les usages aux deux dates. La fonction de gain social tirée de la consommation du vecteur de quantités (q_{r1}, q_{r2}) est $u_r(q_{r1}, q_{r2})$ avec $\frac{\partial^2 u_r(q_{r1}, q_{r2})}{\partial q_{r1} \partial q_{r2}} \neq 0$.

L'optimum collectif est atteint en maximisant cette fonction sous la contrainte

$$q_{r1} + q_{r2} \leq S \quad (\gamma).$$

En négligeant les conditions de non-négativité des variables, le Lagrangien du problème est donc :

$$L = u_r(q_{r1}, q_{r2}) + \gamma(S - q_{r1} - q_{r2})$$

Les conditions de premier ordre ont pour expression :

$$\frac{\partial u_r}{\partial q_{r1}} = \gamma = \frac{\partial u_r}{\partial q_{r2}} \quad (A1)$$

Ces conditions, associées aux conditions d'écarts complémentaires

$$\gamma \geq 0, S \geq q_{r1} + q_{r2}, \gamma.(S - q_{r1} - q_{r2}) = 0$$

permettent de déterminer la solution optimale (γ, q_{r1}, q_{r2})

* Soit maintenant un agent représentatif concurrentiel dont les gains intertemporels sont donnés par $u_r(q_{r1}, q_{r2})$. Il est placé face à des prix p_1, p_2 pour les dates 1 et 2 respectivement. En supposant qu'il escompte les valeurs monétaires au même taux que ses gains, ses dépenses actualisées à la période 1 sont $p_1 q_{r1} + \beta p_2 q_{r2}$. Donc ses choix sont déterminés par

$$\max_{q_{r1}, q_{r2}} u_r(q_{r1}, q_{r2}) - p_1 q_{r1} - \beta p_2 q_{r2}.$$

Les conditions de premier ordre s'écrivent

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_r}{\partial q_{r1}} &= p_1 \\ \frac{\partial u_r}{\partial q_{r2}} &= \beta p_2\end{aligned}$$

Pour que le système de prix permette de décentraliser l'optimum, compte tenu de (A1), il faut donc que

$$p_1 = \gamma, \quad p_2 = \frac{p_1}{\beta} = p_1 (1+i).$$

La règle de Hotelling est donc indépendante de la structure, séparable ou non, de la fonction d'utilité $u_r(q_{r1}, q_{r2})$.

* A titre d'illustration, une fonction de la forme

$$u_r(q_{r1}, q_{r2}) = v_{r1}(q_{r1}, q_{r2}) + \beta v_{r2}(q_{r1}, q_{r2})$$

ouvre des possibilités de substituabilité, si $\frac{\partial^2 v_{rt}(q_{rt}, q_{rt'})}{\partial q_{rt} \partial q_{rt'}} < 0$, ou de complémentarité, si

$$\frac{\partial^2 v_{rt}(q_{rt}, q_{rt'})}{\partial q_{rt} \partial q_{rt'}} > 0, \text{ entre les besoins aux deux dates } t \text{ et } t'.$$

A l'optimum collectif on aura

$$\begin{aligned}q_{r1} : \quad & \frac{\partial v_{r1}}{\partial q_{r1}} + \beta \frac{\partial v_{r2}}{\partial q_{r1}} = \gamma \\ q_{r2} : \quad & \frac{\partial v_{r1}}{\partial q_{r2}} + \beta \frac{\partial v_{r2}}{\partial q_{r2}} = \gamma\end{aligned}$$

Pour le consommateur représentatif qui résout

$$\max_{q_{r1}, q_{r2}} v_{r1}(q_{r1}, q_{r2}) + \beta v_{r2}(q_{r1}, q_{r2}) - p_1 q_{r1} - \beta p_2 q_{r2},$$

les conditions de premier ordre s'écrivent

$$\begin{aligned} q_{r1} : \quad & \frac{\partial v_{r1}}{\partial q_{r1}} + \beta \frac{\partial v_{r2}}{\partial q_{r1}} = p_1 \\ q_{r2} : \quad & \frac{\partial v_{r1}}{\partial q_{r2}} + \beta \frac{\partial v_{r2}}{\partial q_{r2}} = \beta p_2 \end{aligned}$$

Donc, à nouveau, pour que le système de prix permette de décentraliser l'optimum, il faut que

$$p_1 = \gamma, \quad p_2 = \frac{p_1}{\beta} = p_1 (1+i).$$